

## **Caracterização de produtos de deterioração do betão por métodos petrográficos**

### ***Characterization of the products of deterioration of concrete by petrographic methods***

**A. RODRIGUES** – andrea.oberon81@gmail.com (Centro de Geologia da Universidade do Porto)

**I. FERNANDES** – ifernand@fc.up.pt (Universidade do Porto, Centro de Geologia e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território)

**F. NORONHA** – fmnoronh@fc.up.pt (Universidade do Porto, Centro de Geologia e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território)

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objectivo a caracterização de produtos de deterioração do betão por métodos petrográficos. Para tal foram estudadas amostras de sete estruturas de betão assim como três amostras resultantes de ensaios de laboratório. As evidências externas de deterioração das estruturas foram confirmadas pela análise petrográfica ao microscópio óptico de polarização e pela análise ao microscópio electrónico de varrimento/espectrómetro de dispersão de energia, tendo-se observado como produtos de deterioração gel sílico-alcalino, trona, ettringite, taumasite e gesso.

**PALAVRAS-CHAVE:** betão, petrografia, gel, ettringite, taumasite

**ABSTRACT:** This study aimed to characterize the products of deterioration of concrete by petrographic methods. Samples from seven concrete structures as well as three samples produced in laboratory tests were studied. The external evidence of deterioration of the structures were confirmed by petrographic microscope and analysis by scanning electron microscope / spectrometer energy dispersion lead to the identification of alkali-silica gel, trona, ettringite, gypsum and thaumasite as reaction products:.

**KEYWORDS:** concrete, petrography, gel, ettringite, thaumasite.

## **1. INTRODUÇÃO**

Contrariamente ao que se acreditou durante anos, o betão não tem uma duração ilimitada. Algumas estruturas, especialmente as que se encontram em ambientes costeiros ou em meios urbanos, podem deteriorar-se ao fim de 20 a 30 anos ou até mais cedo (Metha, 1997). No presente trabalho os factores de deterioração em destaque são as reacções álcali-agregado (reacção álcali-silica) e o ataque químico, especificamente o ataque por sulfatos de origem interna e externa e o ataque ácido.

A reacção álcali-silica no betão é uma reacção química que envolve hidróxidos (OH<sup>-</sup>) alcalinos usualmente derivados dos álcalis (K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) presentes na solução intersticial do betão e formas de sílica reactivas presentes nas partículas dos agregados. Esta reacção química envolve também a água, essencial para a formação do gel sílico-alcalino (Poole, 1992; ACI, 1998).

Ataque por sulfatos é o termo genérico para um conjunto de processos químicos e físicos complexos causados pela reacção dos componentes do cimento com sulfatos de origem interna

ou externa. Em resultado forma-se etringite, produto com propriedades expansivas e consequente fissuração do betão e das estruturas. Para além da etringite, no caso do ataque por sulfatos de origem externa outros dois produtos de reacção podem ser originados, o gesso e a taumasite (Hagelia et al, 2003).

O ataque ácido é consequência de dois factores (Zivica e Bajza, 2001): a alcalinidade do cimento e a presença de ácidos que entram em contacto com as estruturas de betão. O ataque ácido origina a decomposição dos produtos de hidratação, especialmente o  $\text{Ca(OH)}_2$ , e deste resultam reacções que têm como produtos finais a etringite e o gesso.

A identificação dos produtos de reacção é essencial para o correcto diagnóstico do principal processo de deterioração. Esta identificação é geralmente executada por métodos petrográficos. Para o estudo e caracterização dos produtos de deterioração resultantes destes processos utilizou-se o microscópio óptico de polarização (MOT). Devido às dimensões, por vezes sub-microscópicas de alguns produtos de deterioração, é necessário recorrer a técnicas complementares como o microscópio electrónico de varrimento e espectrometria de dispersão de energia (MEV/EDS).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram produzidas lâminas delgadas de amostras de betão de dimensão 25×45mm, polidas e preparadas totalmente por processos manuais, e lâminas delgadas com lamela preparadas segundo a norma NT Build 361, 1991. Ambos os conjuntos de lâminas delgadas foram observados ao microscópio óptico de transmissão (MOT). As lâminas polidas (25×45mm) que suscitaram algumas dúvidas quanto à natureza dos produtos de deterioração foram observadas ao microscópio electrónico de varrimento (MEV). Foram ainda observadas amostras colhidas em exsudações e eflorescências existentes na superfície do betão e as amostras de laboratório.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

Nas lâminas delgadas foi possível identificar gel sílico-alcalino, etringite, gesso e taumasite. Nas exsudações e eflorescências observou-se gel e trona. As amostras de laboratório resultaram de ensaios em que se pretendia estudar as condições de formação de taumasite.

O gel ao MOT pode observar-se em poros, fissuras, na interface pasta de cimento/agregado e a substituir partículas de agregado (Figura 1). Apresentava-se geralmente incolor e isotrópico, por vezes com tonalidade amarelada ou acastanhada, dependendo da localização no betão. Muitas vezes apresenta fissuras de retracção conchoidais resultantes, em geral, da própria preparação da amostra. Ao MEV/EDS (Figura 1) o gel mostra frequentemente fissuras conchoidais de retracção, especialmente nas orlas de poros e nas partículas substituídas. Por vezes apresenta composição zonada. O Si é o elemento predominante nas análises EDS, seguindo-se o Ca, K e Na.

Ao MEV/EDS verifica-se que a trona se encontra geralmente associada ao gel sílico-alcalino das exsudações e eflorescências. Apresenta-se sob a forma de cristais de hábito colunar, fibroso ou acicular, em feixes ou em aglomerados globulares, por vezes em rosetas (Figura 2). Como constituintes principais é de destacar o Na e o O.

A etringite ao MOT é observada a preencher fissuras, poros e na pasta de cimento (Figura 3). Quando preenche fissuras apresenta cristais aciculares muito finos, encontrando-se compacta/maciça, com tonalidades amarelada a acastanhada, devido à dimensão dos cristais a cor de polarização é difícil de observar. Preenche total ou parcialmente os poros com cristais mais ou menos densos. Quando maciça apresenta uma tonalidade mais escura devido ao menor espaçamento dos cristais. Na pasta de cimento apresenta-se maciça ou em cristais aciculares compactos. Ao MEV a etringite (Figura 4) encontra-se em cristais que crescem na perpendicular

às paredes das fissuras e dos poros, apresentando-se estes cristais por vezes muito compactos. É observável também em feixes de cristais aciculares. A sua composição consiste em Ca, S e Al.

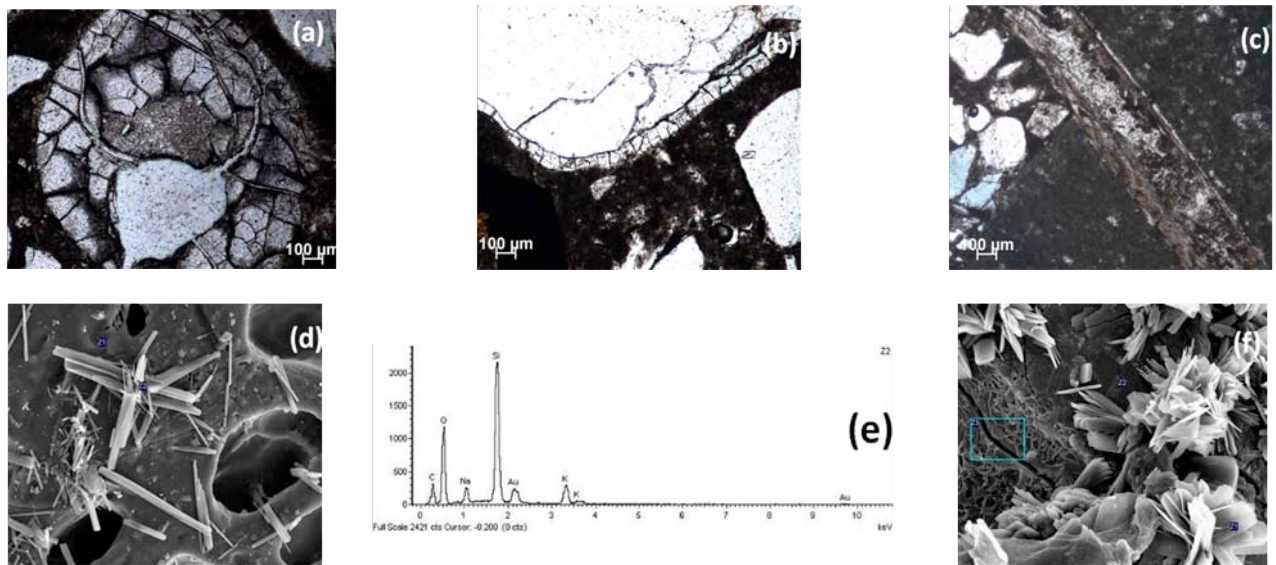


Figura 1 - (a) gel a substituir partícula de agregado, (b) gel na interface pasta de cimento/agregado, (c) gel em fissura, (d) gel maciço com aspecto vacuolar(ES); (e) espectro EDS característico do gel das exsudações, (f) gel liso e gel com fissuras de retracção conchoidaisn (ES).

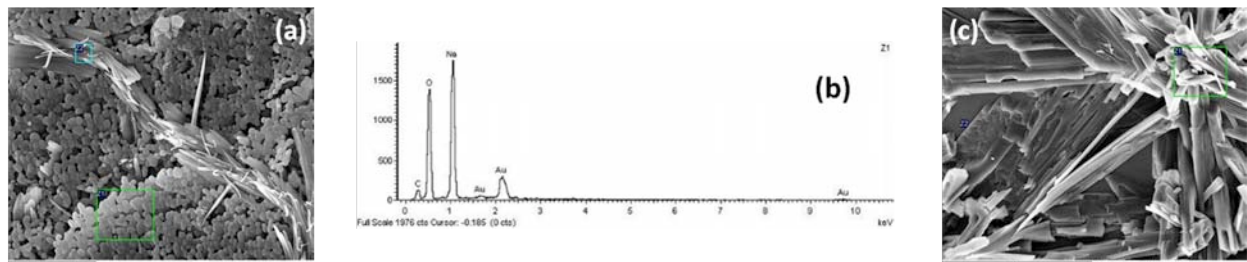


Figura 2 - (a) trona com carácter globular e tabular (ES), (b) espectro EDS correspondente a trona, (c) trona de hábito tabular (ES)

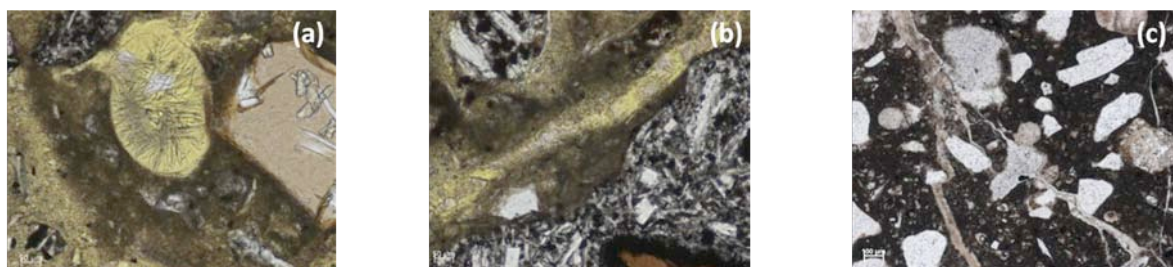


Figura 3 - (a) etringite a preencher parcialmente um poro, (b) e (c) etringite a preencher fissuras.

Ao MOT o gesso apresenta pequenos cristais aciculares incolores a brancos quando observado em N//. Em luz polarizada a sua cor é acinzentado de 1ª ordem, sendo difícil a sua observação devido à pequena dimensão dos cristais. Foi observado a substituir a pasta de cimento e as porções esparíticas dos agregados calcários. Ao MEV o gesso apresentou-se sob a forma de cristais prismáticos ou tabulares. As análises de EDS evidenciaram os picos correspondentes ao O, S e Ca, principais constituintes do gesso.

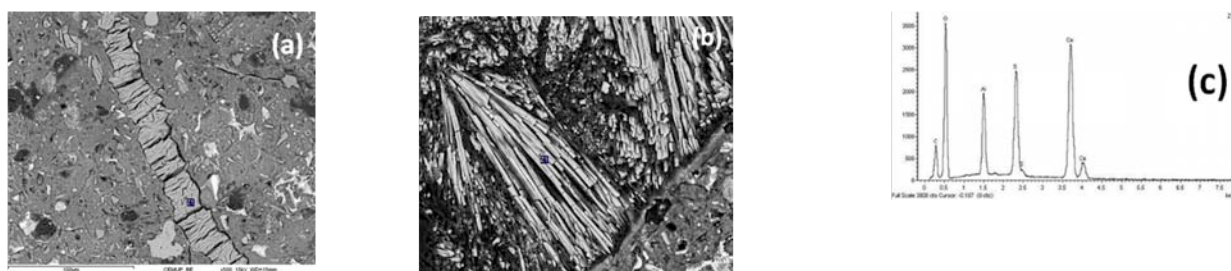


Figura 4 - (a) etringite a preencher fissura (ER), (b) agulhas de etringite a preencher poro, (c) espectro EDS da etringite (ES).

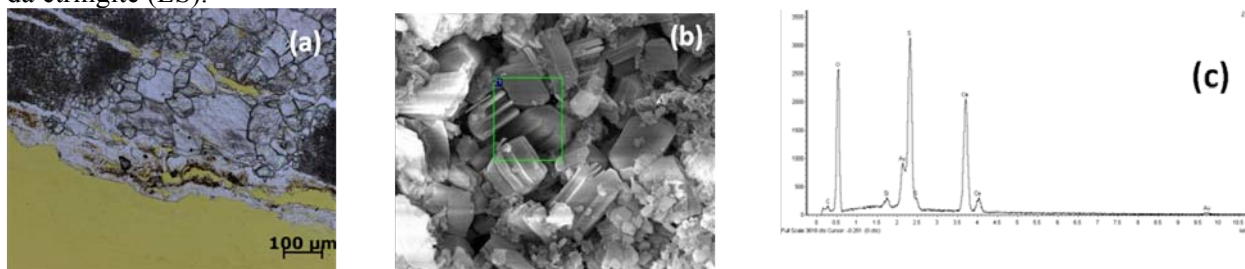


Figura 5 - (a) gesso a substituir a pasta de cimento e agregado, (b) cristais prismáticos de gesso (ES), (c) espectro EDS do gesso.

A taumasite (Figura 6) apresenta-se sob a forma de aglomerados de cristais aciculares ou tabulares, em feixes não orientados. As análises EDS confirmaram a sua composição em Ca, S e Si.

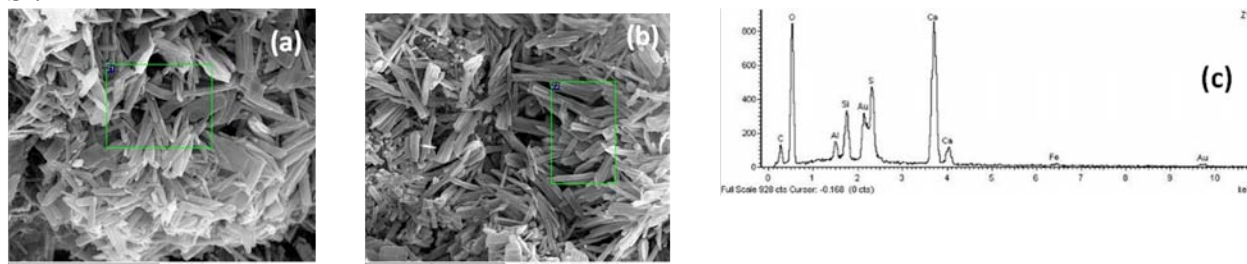


Figura 6 - (a) e (b) cristais de taumasite aciculares e tabulares, (c) espectro EDS da taumasite.

#### 4. CONCLUSÕES

Os produtos de deterioração observados foram essencialmente gel, trona, etringite, taumasite e gesso. Estes produtos apresentam características distintivas ao MOT, sendo que a aplicação do MEV/EDS é de grande interesse para confirmar as observações efectuadas. Refira-se a existência por vezes simultâneas de etringite e taumasite, minerais que se apresentam com hábito semelhante, para os quais a análise EDS é um método eficaz de identificação.

#### Agradecimentos

*Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto de Financiamento Plurianual da FCT, GeoREMAT, do Centro de Geologia da Universidade do Porto. As análises SEM/EDS foram realizadas no CEMUP (Projectos REEQ/1062/CTM/2005 e REDE/1512/RME/2005 da FCT).*

#### Referências

- ACI, 1998, "State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity", Reported by ACI Committee 221, American Concrete Institute, Michigan, 31 pp.
- Hagelia, P., Sibbick, R., Crammond, N., Larsen, C., 2003, "Thaumasite and secondary calcite in some Norwegian concretes," Cement and Concrete Composites, Vol.25: 1131-1140.
- Metha, P. K., 1997, "Durability-Critical Issues for the future." Concrete International", Vol.19, No.7, pp.27-33.
- Poole, A.B., 1992, "Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete", in The alkali-silica reaction in concrete, Swamy, R.N. (editor), Blackie and Son Ltd., London, pp. 1-29.